



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원 번호 : 10-2003-0084715  
Application Number

출원 년 월 일 : 2003년 11월 26일  
Date of Application NOV 26, 2003

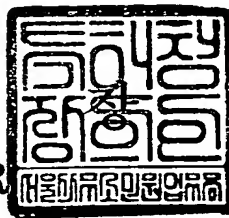
출원인 : 삼성전자주식회사  
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.



2003 년 12 월 16 일

특 허 청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0022
【제출일자】	2003.11.26
【국제특허분류】	G02F
【발명의 명칭】	광학 요소 및 이의 제조 방법
【발명의 영문명칭】	Optical element and fabrication method thereof
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	2003-003435-0
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2003-003436-7
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김순호
【성명의 영문표기】	KIM, Soon Ho
【주민등록번호】	680924-1149511
【우편번호】	442-470
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 986-11 3층 301호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	최성운
【성명의 영문표기】	CHOI, Seong Woon
【주민등록번호】	630525-1394221

【우편번호】	442-470
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 신나무실 신원아파트 634-304
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	문성용
【성명의 영문표기】	MOON, Seong Yong
【주민등록번호】	661026-1550921
【우편번호】	442-470
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 967-2 풍림아파트 602-504
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	박진홍
【성명의 영문표기】	PARK, Jin Hong
【주민등록번호】	701010-1235011
【우편번호】	143-761
【주소】	서울특별시 광진구 구의3동 631-1번지 현대프라임아파트 8-2504
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이영필 (인) 대리인 이해영 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	24 면 24,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	33 항 1,165,000 원
【합계】	1,218,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

**【요약서】****【요약】**

다양한 광학 시스템에 적합화된 광학 요소 및 이의 제조 방법이 제공된다. 본 발명에 따른 광학 요소는 전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 기관 및 기관의 매질 내부에 형성되어 기관의 후면에 입사되어 기관을 투과하는 조명의 강도, 형상 및/또는 성분을 조절하는 회절 어레이를 포함한다. 본 발명에 따른 광학 요소는 조명의 강도 또는 조명의 형상을 능동적으로 조절할 수 있다.

**【대표도】**

도 3b

**【색인어】**

광학 요소, 조명 강도 분포, 사입사 조명, 펄스 초 레이저

## 【명세서】

## 【발명의 명칭】

광학 요소 및 이의 제조 방법{Optical element and fabrication method thereof}

## 【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래의 포토마스크를 사용하여 노광할 경우 발생하는 웨이퍼 상의 샷 불균일을 도시하는 개략도이다.

도 2는 종래의 노광 시스템에 있어서의 사입사 조명을 설명하는 개략도이다.

도 3a는 본 발명에 따른 포토마스크의 제1 실시예의 평면도이고, 도 3b는 도 3a의 포토마스크를 사용하여 노광할 경우 웨이퍼 상에 프린트되는 패턴의 임계 치수(CD)를 나타내는 개략도이다.

도 4a 및 도 4b는 회절 어레이에 의한 조명 조건의 변화를 푸리에 광학에 근거하여 설명하기 위한 개략도들이다.

도 5는 본 발명에 따른 포토마스크의 제1 실시예의 CD 편차 보정의 정밀도를 설명하기 위한 도면이다.

도 6a는 본 발명에 따른 포토마스크의 제2 실시예의 평면도와 이를 사용할 경우 웨이퍼 상에 구현되는 사입사 조명을 도시하는 개략도이고, 도 6b는 도 6a의 B-B' 선을 따라 자른 포토마스크의 부분 단면도이다.

도 7a는 변형 조명이 가능하도록 하는 회절 어레이의 상면도이고, 도 7b는 도 7a의 회절 어레이에 의해 구현되는 십자형 조명을 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 렌즈를 나타내는 단면도이다.

도 9 및 도 10은 본 발명에 따른 포토마스크의 제1 실시예를 제조하기 위한 흐름도들이다.

도 11은 도 9 및 도 10의 각 단계에서 얻어지는 맵 및 포토마스크의 회절 어레이를 나타내는 개략도이다.

도 12는 본 발명에 따른 포토마스크의 제조에 사용되는 펄스 초 레이저의 개략도이다.

도 13은 서로 다른 스폿 밀도의 회절 어레이를 구비하는 석영 기판 및 이의 투과율을 나타내는 상면도이다.

도 14a는 회절 어레이들이 형성될 포토마스크 섹션들을 도시하는 개략도이고, 도 14b는 포토마스크에 형성되는 서로 다른 피치의 회절 어레이들의 사진이며, 도 14c는 회절 어레이 스폿의 피치에 따른 투과율을 나타내는 그래프이다.

#### 【발명의 상세한 설명】

#### 【발명의 목적】

#### 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <14> 본 발명은 광학 요소들에 관한 것으로, 특히, 광학 요소들 매질 내에 회절 어레이를 구비하여 광학 요소를 투과하는 조명의 강도, 형상 및/또는 성분을 능동적으로 조절할 수 있는 광학 요소 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.
- <15> 미세 전자 소자의 제조에 사용되는 노광 시스템 또는 기타 다른 광학 시스템에 요구되는 해상도가 증가하고 각 광학 시스템별로 요구되는 특성이 세분화되고 다변화됨에 따라 이들 광학 시스템에 적용되는 다양한 광학 요소들, 예컨대, 포토마스크, 렌즈, 어퍼처(aperture) 등의 성능 향상에 대한 요구가 증대하고 있다.

- <16> 특히, 미세 전자 소자의 디자인 룰이 감소함에 따라, 도 1에 도시되어 있는 바와 같이, 노광원의 조명(1)에 의해 포토마스크(3)의 마스크 패턴(5)이 웨이퍼(7) 상으로 전사될 때, 최초 디자인된 패턴의 CD(8)로 균일하게 나타나지 않고 웨이퍼 상에 프린트된 패턴(9)의 CD가 위치에 따라 변하는 웨이퍼 상의 샷 균일도(shot uniformity on wafer) 저하가 빈번히 발생하고 있다. 이는 비록 포토마스크(3)의 후면으로 입사되는 조명 강도의 분포는 균일하나, 이 조명이 마스크 패턴(5)을 투과하면서 다양한 광학적 현상에 의해 각 위치별로 그 조명 강도가 달라지면서 발생하는 문제점이다.
- <17> 샷 균일도를 증가시키기 위하여 미리 준비된 조명 강도 분포를 갖고 있는 필터를 도입하고 스캔하는 중에 노광원(예., KrF 엑시머 레이저 또는 ArF 엑시머 레이저)의 에너지를 변화시키는 방법이 제안되어 왔다. 그러나, 이러한 시도는 스캔하는 중에 노광원의 에너지를 자유롭게 변화시킬 수 있어야 가능하므로, 현재의 노광 시스템으로는 구현하기가 용이하지 않다.
- <18> 한편, 노광 시스템의 해상도 한계를 극복하기 위한 방법의 일환으로 변형 조명 방법(modified illumination)의 일종인 사입사 조명(Off-Axis Illumination : 이하, "OAI")을 이용하는 방법이 제안되어 왔다.
- <19> 도 2에 도시되어 있는 바와 같이 OAI는 광투과 영역이 원형인 종래의 어퍼처(conventional aperture)대신 광투과 영역이 애눌러(annular), 다이폴(dipole) 또는 쿼드러폴(quadrupole) 형태인 변형 어퍼처(10)를 노광 시스템의 조명 광학계(illumination optics)에 설치하여 조명(1)의 수직성분(0 차광)을 차단하고 사입사 성분(+1, -1 차광)만이 포토마스크(3) 상에 입사되도록 하여 해상도를 향상시킨다. 이 경우, 노광원에서 나온 조명(1)이 변형 어퍼처(10)를 거치면서 그 강도가 감소되는 문제가 있다. 미설명 부호 11은 투영 광학계(projection optics)를, 13은 pupils를 나타낸다.

<20> 이론적으로 OAI를 이용하면, 종래의 원형 어퍼쳐를 사용할 경우에 비하여 해상도가 약 1.5배 정도 증가되며, 초점심도(Depth Of Focus : 이하, "DOF") 또한 향상된다.

<21> 그러나, 종래의 OAI 방법에 따르면, 노광원에서 나온 조명(1)이 변형 어퍼쳐(10)를 거치면서 그 강도가 감소되는 문제가 있다. 또, 하나의 어퍼쳐(10)만이 포토마스크 전단의 조명 광학계에 설치되므로 적절한 변형 조명 효과를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 즉, 라인 앤드 스페이스(line and space)와 같이 피치가 일정한 경우의 패턴과 x, y 그리고 대각선 방향의 피치가 다양하게 존재하는 패턴을 동시에 전사하여야 할 경우, 한 가지 변형 조명 조건(예., 다이폴)만으로는 각각의 방향에 대한 패턴 형성이 양호하지 못한 단점이 있다. 따라서, 각 방향에 대한 원하는 CD를 얻는 데 한계가 있으며, 이로 인해 공정 마진을 확보하는 것이 불가능하다. 따라서, 다양한 패턴 모양 각각에 대해 적합한 변형 조명을 실시할 수 있는 방법이 요구된다.

#### 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <22> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 사용되는 광학 시스템에 적합화되고 맞춤화되어 이들을 투과하는 조명의 강도, 형상 및/또는 성분이 능동적으로 조절되는 광학 요소를 제공하고자 하는 것이다.
- <23> 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는 웨이퍼 상의 샷 균일도를 달성할 수 있는 포토마스크를 제공하고자 하는 것이다.
- <24> 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 다양한 패턴 레이아웃에 적합한 효과적인 변형 조명이 가능한 포토마스크를 제공하고자 하는 것이다.



- <25> 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 다양한 패턴 레이아웃에 적합한 효과적인 변형 조명이 가능한 어퍼처를 제공하고자 하는 것이다.
- <26> 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 사용되는 광학 시스템에 적합화되고 맞춤형되어 이들을 투과하는 조명광의 강도, 형상 및/또는 성분이 능동적으로 조절되는 광학 요소의 제조 방법을 제공하고자 하는 것이다.
- <27> 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는 웨이퍼 상의 샷 균일도를 달성할 수 있는 포토마스크를 매우 간단하게 제조할 수 있는 방법을 제공하고자 하는 것이다.

#### 【발명의 구성 및 작용】

- <28> 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 요소는 전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 기관 및 상기 기관의 매질 내부에 형성되어 상기 기관의 후면에 입사되어 상기 기관을 투과하는 상기 조명의 강도 및/또는 형상을 조절하는 회절 어레이를 포함한다.
- <29> 상기 다른 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 포토마스크는 전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 포토마스크 기관, 상기 포토마스크 기관의 상기 전면에 형성되어 전자 소자 기관 상에 전사될 마스크 패턴 및 상기 포토마스크 기관 매질 내부에 형성되어 상기 포토마스크의 상기 후면에 입사되어 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명의 강도를 조절하는 회절 어레이를 포함한다.
- <30> 상기 다른 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 어퍼처는 노광 시스템에서 포토마스크로 입사되는 조명의 수직성분을 차단하고 사입사 성분만이 입사되도록 하는 어퍼처로, 전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 기관 및 상기 기관의 매질 내부에

형성되고, 상기 기판의 후면에 입사되어 상기 기판을 투과하는 조명이 상기 포토마스크에 사입사되도록 하는 회절 어레이를 포함한다.

<31> 상기 또 다른 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 요소의 제조 방법은 광학 시스템에 적용되는 광학 요소로 조명에 대해 투명한 기판을 가지는 광학 요소를 제공하는 단계 및 상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 상기 기판에 조사하여 상기 기판의 매질 내부에 상기 기판의 후면에 입사되어 상기 기판을 투과하는 상기 조명의 강도, 형상 및/또는 성분을 조절하는 회절 어레이를 형성하는 단계를 포함한다.

<32> 상기 또 다른 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 포토마스크의 제조 방법은 전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 포토마스크 기판 및 상기 포토마스크 기판의 상기 전면에 형성되어 전자 소자 기판 상에 전사될 마스크 패턴을 구비하는 포토마스크를 제공하는 단계 및 상기 포토마스크 기판 매질 내부에 상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 상기 기판에 조사하여 상기 포토마스크의 상기 후면에 입사되어 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명의 강도를 조절하는 회절 어레이를 형성하는 단계를 포함한다.

<33> 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

<34> 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주

기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

<35> 본 발명의 실시예들에 따른 광학 요소들은 기판 매질 내에 다양한 형상의 회절 어레이를 포함하여 기판의 후면에 입사되어 기판을 투과하는 조명의 강도, 형상 및/또는 성분이 다양하게 조절되도록 할 것이다. 본 발명의 실시예들에 따른 광학 요소의 기판 매질 내에 포함되는 회절 어레이는 광학 요소 기판에 크랙 등의 손상을 일으키지 않고 기판 매질에 비해 굴절률이 큰 스폿을 형성할 수 있는 에너지 밀도를 조사하여 형성될 것이다. 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 포토마스크는 기판 매질 내에 회절 어레이를 포함하여 노광 과정에 의해 웨이퍼 상에 패턴을 전사할 때, 웨이퍼 상에 프린트된 패턴들의 위치에 상관없이 임계 치수가 균일해지도록 할 것이다. 회절 어레이는 포토마스크의 후면에 입사되어 각 마스크 패턴에 입사하는 조명 강도 분포를 미세하게 변화시킴으로써 웨이퍼 상에 프린트된 패턴들의 임계 치수가 균일해지도록 할 것이다. 이는 웨이퍼 상에 프린트되는 패턴들의 임계 치수가 조명 강도(또는 노광 도우즈)에 따라 변화될 수 있다는 점에 근거한다. 조명 강도 분포는 회절 어레이를 구성하는 스폿들의 밀도를 조절함으로써 용이하게 조절할 수 있을 것이다. 이 때, 회절 어레이를 구성하는 스폿들의 밀도 조절로 조명 세기 분포를 대략 50% 정도까지 변화시킬 수 있으나, 대략 2-20% 범위 내에서 변화시켜 조명 광학계의 기본 구조는 유지하도록 하는 것이 바람직하다.

<36> 포토마스크에 의해 웨이퍼 상에 프린트된 패턴들의 CD 차이는 어떤 특정한 경향으로만 나타나는 것이 아니다. 따라서, 본 발명의 실시예들에 따른 포토마스크에서는 불특정한 CD 차이 분포에 대응하여 포토마스크의 각 섹션별로 서로 다른 스폿 밀도를 가지는 복수개의 회절 어레이들을 포함하여 각 섹션별로 마스크 패턴에 입사되는 조명 강도가 달라지도록 하여 웨이퍼 상에 프린트되는 패턴들 사이에 CD 선평 편차가 발생하는 것을 보정할 것이다.

- <37> 그리고, 본 발명의 실시예에 따른 포토마스크는 회절 어레이를 마스크 패턴과 인접한 위치에 포함함으로써 글로벌한 균일도 및 국지적인 균일도 모두를 달성할 수 있을 것이다.
- <38> 또, 본 발명의 다른 실시예에 따른 포토마스크는 사입사 조명이 가능하도록 하는 회절 어레이를 포함할 것이다. 특히 다양한 패턴의 레이아웃에 적합하도록 하는 2 개 이상의 변형 조명이 가능하도록 할 것이다.
- <39> 본 발명에서 지칭하는 광학 요소는 다양한 광학 시스템에 적용되는 포토마스크, 렌즈, 어퍼처 등을 모두 통칭하는 용어로 사용한다.
- <40> 그리고, 본 발명에서 회절 어레이라 함은 어레이를 구성하는 스폿들의 규칙적인 배열뿐만 아니라 불규칙적인 배열을 모두 포함하는 의미로 사용한다. 그리고, 1층 이상의 다층 어레이도 포괄하는 의미로 사용한다.
- <41> 본 발명의 포토마스크는 다양한 미세 전자 소자의 제조에 적용되는 마스크이다. 미세 전자 소자로는 DRAM, SRAM, 플래시 메모리 소자 등의 고집적회로 반도체 메모소자, CPU(Central Processor Unit), DSP(Digital Signal Processor), CPU와 DSP의 조합 등의 프로세서, ASIC(Application Specific Integrated Circuit), MEM's(Micro Electro Mechanical) 소자, 광전자(optoelectronic) 소자, 디스플레이 소자(display device) 등이 있으나, 이는 예시적인 것에 불과하다. 그리고, 이하 설명에서는 미세 전자 소자 기판의 일 예로 웨이퍼를 들어 설명한다.
- <42> 본 명세서에서 "샷(shot)" 이란 포토마스크를 한번에 스캔하여 웨이퍼 상에 전사되어 프린트되는 패턴들의 전체를 지칭한다.
- <43> 이하 본 발명의 실시예들에 따른 광학 요소들을 보다 구체적으로 설명한다.

<44> 포토마스크

- <45> 도 3a는 본 발명에 따른 포토마스크의 제1 실시예(30)의 평면도이고, 도 3b는 도 3a의 포토마스크(30)의 일부를 사용하여 노광할 경우 웨이퍼 상에 프린트되는 패턴의 CD를 나타내는 개략도이다.
- <46> 도 3a를 참조하면, 포토마스크(30)는 노광광에 대하여 투명한 기판(31)에 형성되고 셀 어레이 영역(33)과 주변회로 영역(32)을 구비하는 칩 영역(34)으로 구성된다. 칩 영역(34)에 전자 소자 기판 상으로 전사될 마스크 패턴(37)들이 배치된다. 칩 영역(34) 외부에는 다양한 형태의 얼라인먼트 키(35)들이 배치되며, 칩 영역(34) 외주면을 따라서 레지스트레이션(registration) 측정용 키(36)들이 배치된다.
- <47> 도 3b를 참조하면, 본 발명에 따른 포토마스크(30)는 전면(31FS)과 후면(31BS)을 구비하는 포토마스크 기판(31)을 포함한다. 기판(31)은 노광 조명(40)에 대해 투명한 재질, 예컨대, 석영 또는 유리 등으로 형성된다.
- <48> 포토마스크 기판(31)의 전면(31FS)에는 미세 전자 소자 형성을 위해 미세 전자 소자 기판으로 전사될 마스크 패턴(37)이 형성된다. 마스크 패턴(37)은 크롬 등의 100% 차광막 패턴 또는 하프톤 차광막 패턴 등으로 구성될 수 있다. 또, 마스크 패턴(37)은 차광막 패턴과 기판(31)의 일부를 식각하여 노광광의 위상 쉬프트가 일어나도록 하는 위상 쉬프트 투광 영역의 조합으로 이루어져서 포토마스크(30)가 위상 쉬프트 마스크가 되도록 할 수도 있다.
- <49> 포토마스크 기판(31)의 매질 내에는 회절 어레이들(38a, 38b)이 형성되어 있다. 회절 어레이들(38a, 38b)은 포토마스크(30)의 후면(31BS)에 입사되어 마스크 패턴(37)으로 향하는 조명(40)이 회절 효과에 의해 상쇄 간섭되어 조명 강도가 감소하도록 하는 기능을 한다. 회절 어레이들

(38a, 38b)은 기판(31) 매질의 고유 특성에 영향을 미치지 않아야 하며 노광 조명에 대해서 크랙(crack)으로 작용해서도 안된다. 따라서, 회절 어레이들(38a, 38b)은 기판(31) 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 조사하여 형성한 스팟(39)들의 어레이인 것이 바람직하다. 따라서, 회절 어레이들(38a, 38b)은 펨토 초(femto second) 레이저 등을 사용하여 형성되는 것이 바람직하다. 펨토 초 레이저는 펄스 방사 시간(pulse duration time)이  $10^{-15}$  m/s로 에너지의 발진 밀도가 매우 크다. 일반적으로 1mJ의 광 에너지를 가지고 100 펨토 초 이하의 펄스 방사 시간을 가지는 레이저 빔의 에너지 밀도는 대략  $10^6$ - $10^7$  W/cm<sup>2</sup> 수준에 달한다. 따라서, 펨토 초 레이저를 마스크 기판에 방사하면 기판(31) 매질 내에서 아발란치 포톤 흡수(avalanche photon absorption) 및 이온화(ionization) 즉, 멀티 포톤 현상이 발생한다. 멀티 포톤 현상에 의해 매질 내의 일정 부분이 용융 및/또는 증발하지 않고 플라즈마 형태가 된다. 플라즈마의 높은 온도는 엄청난 압력을 유발하고 높은 속도로 이온이 팽창하도록 한다. 그런데, 펄스 방사 시간이 포톤이 주위의 구성 격자에 열을 전달하는 시간보다 짧으므로 급속히 냉각되는 플라즈마와 주변의 냉(cold) 매질간의 충격 웨이브(shock wave)로 인해 매질과는 완전히 물폴로지가 다르게 냉각된 스팟(39)이 생성된다.

스팟(39)은 기판 매질(31)에 비해 굴절률이 크므로, 회절 효과를 유발하게 된다.

<50> 즉, 포토마스크(30)를 투과하는 조명의 강도는 회절 어레이들(38a, 38b)을 투과하면서 변형되게 된다. 변형된 조명 강도 분포(42)는 포토마스크(30)의 기판(31)의 전면(31FS)에 형성되어 있는 마스크 패턴(37)에 입사하여 마스크 패턴(37)의 이미지를 웨이퍼(50) 상으로 전사한다. 이때, 변형된 조명 강도 분포(42)로 인해 각 마스크 패턴(37)에는 각기 다른 강도의 조명이 입사된다. 따라서, 도 3b에 도시되어 있는 바와 같이, 종래의 경우(도 1)와 달리 웨이퍼(50) 상

에 보정전 CD(51)에서 보정후 프린트된 패턴들(52)의 CD 분포로 웨이퍼(50) 상에서의 샷 균일도가 개선된다.

<51> 한편, 포토마스크(30)에 의해 웨이퍼 상에 프린트된 패턴들의 CD 차이가 불규칙하게 나타나는 경향이 있으므로, 포토마스크에서의 불규칙한 CD 분포를 효과적으로 해결하기 위해서 포토마스크(30)를 복수개의 섹션들(또는 메쉬들)로 나눈다. 각 섹션별로 입사되어야 하는 조명 강도가 다르므로, 회절 어레이들도 서로 다른 형태로 형성되게 된다. 도 3b에서는 제1 회절 어레이(38a)가 형성되는 제1 섹션, 회절 어레이가 없는 제2 섹션 및 제2 회절 어레이(38b)가 형성되는 제3 섹션이 예시적으로 도시되어 있다. 제1 회절 어레이(38a)의 밀도가 제2 회절 어레이(38b) 밀도보다 작다. 밀도는 동일 크기의 스폿(39)을 피치를 달리하여 형성함으로써 조절할 수 있다. 그 결과, 회절 어레이가 없는 제2 섹션을 통과하는 조명의 강도가 가장 크고 제2 회절 어레이(38b)를 통과하는 조명의 강도가 가장 작고 제1 회절 어레이(38a)를 통과하는 조명의 강도가 두 값의 중간 값이 된다. 그 결과 조명 강도 분포가 변화된 조명(42)이 마스크 패턴(37)을 통과하여 웨이퍼(50)상으로 전사되면 종래의 불균일한 CD(점선)(도 1 참조)와 달리 균일한 CD(실선)의 패턴(52)이 웨이퍼(50) 상에 프린트된다.

<52> 한편, 동일한 변형 조명 효과를 얻을 수 있도록 변형된 제1 및 제2 회절 어레이를 구비하는 변형마스크들이 도 3b의 우측에 도시되어 있다. 제1 변형 마스크(30')의 경우에는 제1 회절 어레이(38a')와 제2 회절 어레이(38b')를 동일 피치의 스폿(39)으로 형성하되, 제2 회절 어레이(38b')를 다층 어레이로 형성함으로써 동일한 변형 조명 효과를 얻을 수 있다. 제2 변형 마스크(30'')의 경우에는 제1 회절 어레이(38a'')를 구성하는 스폿(39)과 제2 회절 어레이(38b'')를 구성하는 스폿(39')의 크기를 달리함으로써 동일한 변형 조명 효과를 얻을 수 있다.

- <53> 푸리에 광학(fourier optics)에 따르면 포토마스크(30) 상의 위치에 따른 패턴(37)의 형태가  $f(x)$ 로 주어지면, 포토마스크를 통과한 후 pupils(pupil)로 투영되는 에너지 필드 분포(electric field distribution)는  $g(k)=F\{f(x)\}$ 로 표시된다. 즉, 포토마스크와 pupils에서의 에너지 필드 분포는 서로 푸리에 트랜스폼 관계에 있다. 따라서 조명 조건(illumination condition)의 변화는 푸리에 트랜스폼에 근거하여 설명할 수 있다.
- <54> 제1 회절 어레이(38a)를 예로 들어 보다 구체적으로 조명 조건의 변화를 설명한다. 포토마스크 기관(31) 매질 내의 회절 어레이(38a)에 의한 조명 조건의 변화는 회절 어레이가 없는 원래의 조명 조건과 제1 회절 어레이(38a)에 의한 푸리에 스펙트럼(파워 스펙트럼)의 컨벌루션(convolution)으로 기술할 수 있다.
- <55> 이 때, 제1 회절 어레이(38a)의 스폿(39)을 통과하는 빛의 위상이  $180^\circ$  쉬프트된다고 가정하면, 도 4a에 도시되어 있는 바와 같이 제1 회절 어레이(38a)는 패턴(I)과 패턴(II)의 컨벌루션으로 표시할 수 있고, 패턴(I)은 다시 도 4b와 같이 해석될 수 있다. 따라서, 소정 직경(d)의 스폿(39)들이 소정 피치(p)로 어레이된 제1 회절 어레이(38a)에 의한 푸리에 스펙트럼(파워 스펙트럼)은 하기 수학식 1과 같이 구해진다.
- <56> **【수학식 1】**  $E(\text{에너지 필드}) = 1 - 2d^2/p^2$
- <57>  $E(\text{에너지 필드})$ 를 제공하면 하기 수학식 2와 같이 웨이퍼(50) 상에 전달되는 조명 강도(illumination intensity)가 된다.
- <58> **【수학식 2】**  $I(\text{조명 강도}) = [1 - 2d^2/p^2]^2 \approx 1 - 4d^2/p^2$
- <59> 위 식으로부터 고차항 회절 성분(high order diffraction term)이 없고 스폿(39)의 밀도( $d^2/p^2$ )가 작으면, 상기 근사화된 식을 적용할 수 있으며, 최대 조명 강도 감소는 스폿(39) 밀도( $d^2$ )



$/p^2$ )의 4배까지 가능함을 알 수 있다. 그러나, 실제 노광시에는 고차항 회절 성분이 0이 될 수 없으므로, 스폿(39) 밀도( $d^2/p^2$ )에 대한 조명 강도 떨어짐(illumination intensity drop)의 기울기는 4보다는 작게 된다.

<60> 결론적으로, 조명 강도를 떨어뜨리기 위해서는 스폿(39)의 밀도( $d^2/p^2$ )를 증가시켜야 함을 알 수 있다. 밀도( $d^2/p^2$ )는 스폿(39)의 직경( $d$ )과 피치( $p$ )를 상대적으로 변화시켜 결정할 수 있다. 그런데, 스폿(39)의 직경( $d$ )이 작아질수록 회절 효과가 커지게 되고 고차항 회절 성분의 값이 작아지게 된다. 또, 스폿(39)의 직경( $d$ )이 작아질수록 조명계의 pupils 형상(pupil shape) 변화에 미치는 영향이 작다. 따라서, 스폿(39)의 직경( $d$ )은 최소로 하고 피치( $p$ )를 조절함으로써 스폿(39)의 밀도( $d^2/p^2$ )를 조절하는 것이 조명 강도 조절의 민감도(sensitivity) 측면에서 바람직하다.

<61> 한편, 본 발명에 따른 포토마스크(30)를 사용할 경우 CD 편차 보정의 정밀도가 향상된다. 도 5를 참조하면, 노광원으로 248nm 파장의 KrF 엑시머 레이저를 사용하고, 개구수(NA)가 0.7이고,  $0.55\sigma$  내지  $0.85\sigma$ 를 사용하는 애널리 형태의 pupils(13)를 적용하며 1/4 축소 투영( $M=4$ ) 노광 장치에 적용되며 두께( $t_1$ )가 6.35mm인 포토마스크(30)의 경우를 예로 들어 설명한다. 이 때, 점선으로 도시한 바와 같이 스폿(39')이 포토마스크(30) 기판의 후면(31BS)에 존재한다면, 공간 해상도는 하기 수학식 3으로 주어진다.

<62> 【수학식 3】  $SR(\text{공간 해상도}) = 2 (NA \times \sigma_{\text{outer}} / M \times n_{qz}) \times t$

<63> 상기 식에  $NA = 0.7$ ,  $\sigma_{\text{outer}} = 0.85$ ,  $M = 4$ ,  $n_{qz} = 1.5$ ,  $t = 6.35\text{mm}$ 를 각각 대입하면,  $SR = 1.26 \text{ mm}$ 가 된다.

- <64> 도 3a에서 셀 어레이 영역(33)의 거리(D2)가 약 0.8mm이고 주변 회로 영역(32)의 거리(D1)가 약 0.2mm 정도이므로, 이 정도의 SR로는 셀 어레이 영역(33)과 주변 회로 영역(32)을 구분하여 CD 편차를 보정할 수가 없다.
- <65> 반면, 스팟(39)이 기판(31)의 매질 내에 형성되어 기판(31)의 전면(31FS)으로부터 소정 두께(t2)되는 지점에 존재하면 공간 해상도(SR)는 현저히 향상된다.
- <66> t2가 150 $\mu$ m 되는 지점을 예로 들면, SR은 29.8 $\mu$ m가 된다. 이는 기판(31) 후면(31BS)에 존재할 경우보다 공간 해상도(SR)가 약 42배 정도 향상된다.
- <67> 따라서, 포토마스크(30)의 기판(31) 매질 내에 회절 어레이를 구비할 경우, 셀 어레이 영역(33)과 주변 회로 영역(32)을 구분하여 CD 편차를 정밀하게 보정할 수 있을 뿐만 아니라 각 영역(33) 내에서도 미세하고 정밀한 보정이 가능하다. 이 때, 전체적인 CD의 균일도는 각 영역(33, 32)별 투과율 조절을 통해 최소 CD에 맞추어 보정함으로써 획득이 되므로, 전체 CD를 목표값에 맞추기 위해서는 전체적인 조명강도를 일률적으로 일정 수치만큼 올려서 노광하는 것이 바람직하다.
- <68> 도 6a는 본 발명에 따른 포토마스크의 제2 실시예(60)의 평면도와 이를 사용할 경우 웨이퍼 상에 구현되는 사입사 조명(72, 73)을 도시하는 개략도이고, 도 6b는 B-B' 선을 따라 자른 포토마스크(60)의 부분 단면도이다.
- <69> 제2 실시예에 따른 포토마스크(60)는 기판(61) 매질 내에 애놀러(72), 다이폴(73), 쿼드러폴 등의 OAI가 가능하도록 하는 회절 어레이(68)를 구비한다. 이 경우 회절 어레이(68)는 다층 어레이로 소정 그레이드(grade)를 가지는 어레이인 것이 바람직하다. 미설명 부호 67은 마스크 패턴을, 61FS는 마스크 전면을, 61BS는 마스크 후면을 지칭한다.

<70> 제2 실시예에 따른 포토마스크(60)는 그 자체에서 OAI가 구현되므로, 어퍼처를 사용할 경우에 발생하던 조명 강도의 감소 문제가 해결된다. 또, 회절 어레이(68)의 층 수 및 그레이드를 다양하게 조절하여 특정 지역의 패턴 유형에 적절한 OAI가 가능하도록 할 수 있다. 도 6a에 도시되어 있는 바와 같이 주변 회로 영역(62)에서는 애널리 형태의 사입사 조명(72)이 셀 어레이 영역(63)에서는 다이폴 형태의 사입사 조명(73)이 가능하도록 할 수 있다. 또, 도면에는 도시하지 않았으나,  $x$ ,  $y$ , 그리고 대각선 방향 피치가 존재하는 경우에는 다이폴과 종래의 원형 조명의 조합, 쿼드러폴과 종래의 원형 조명의 조합이 가능하도록 하는 회절 어레이를 구비할 수도 있다.

<71> 또, 도면에는 도시하지 않았으나, 포토마스크 내에 사입사 조명이 가능하도록 하는 회절 어레이와 포토마스크를 투과하는 조명 강도를 조절하는 회절 어레이를 동시에 포토마스크 기판 매질 내에 포함할 수도 있음은 물론이다. 이 경우, 조명 강도 조절을 위한 회절 어레이를 마스크 패턴에 보다 근접하도록 하고, 그 위에 사입사 조명이 가능하도록 하는 회절 어레이를 배치하는 것이 바람직하다. 조명강도 조절을 위한 회절 어레이는 마스크 패턴에 가능한 근접할수록 보다 정밀한 보정을 할 수 있으며, 사입사 조명의 경우 효과를 위해서는 어느 정도 마스크 패턴과의 거리가 필요하기 때문이다.

#### <72> 어퍼처(Aperture)

<73> 어퍼처는 노광 시스템의 조명 광학계에서 포토마스크 전단에 설치되어 포토마스크로 입사되는 조명의 수직성분(0 차광)을 차단하고 사입사 성분(+1차광 및/또는 -1차광)만이 입사되도록 하는 광학 요소이다.

- <74> 본 발명에 따른 어퍼쳐는, 전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 기판 및 기판의 매질 내부에 형성되어, 기판의 후면에 입사되어 기판을 투과하는 조명이 포토마스크에 사입사되도록 하는 회절 어레이를 포함한다.
- <75> 어퍼쳐는 도 6b에서 마스크 패턴(67)이 없는 경우와 동일한 구성을 하게 되며, 회절 어레이(68)의 층 수 및 그레이드를 다양하게 조절하여 특정 지역의 패턴 유형에 적절한 OAI가 가능하도록 할 수 있다. 예컨대, 셀 어레이 영역의 패턴의 해상도를 향상시키기에 적합한 다이폴 조명이 가능하도록 하는 제1 회절 어레이와 주변 회로 영역의 패턴의 해상도를 향상시키기에 적합한 애널리 조명이 가능하도록 하는 제2 회절 어레이를 포함할 수 있다. 또, 종래의 원형+다이폴, 종래의 원형+쿼드러폴, 종래의 원형+애널리 등등 다양한 OAI가 가능하도록 하는 회절 어레이를 포함할 수 있다. 또는 도 7a와 같은 형태의 회절 어레이를 기판 매질 내에 구비함으로써 도 7b에 도시되어 있는 바와 같은 십자형 조명이 가능하도록 할 수도 있다.
- <76> 맞춤형 렌즈
- <77> 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 렌즈를 나타내는 단면도이다. 도 8은 프레넬 렌즈로 작용하는 렌즈의 단면도이다. 렌즈 기판(81) 내에 형성된 다층 회절 어레이(88a, 88b)에 의해 프레넬 렌즈가 구현된다.
- <78> 렌즈는 유리와 같은 무기물질의 면을 구면으로 곱게 갈아 물체로부터 오는 빛을 모으거나 발산시켜 광학적 상을 맺게 하는 물체를 통칭하는 용어로 사용한다. 한편, 광학적 상을 맺도록 형성되고 표면에 표면경도 강화와 난반사 방지를 위해 주로 실리카 계열의 무기물질이 도포된 플라스틱 렌즈 또한 포함한다.

- <79> 이하 본 발명의 실시예들에 따른 광학 요소의 일 예인 포토마스크의 제조 방법을 도 9 내지 도 12를 참고하여 설명한다.
- <80> 도 9 내지 도 11을 참조하면, 먼저 % 도우즈 떨어짐 값 맵(% dose drop value map)을 구한다 (S1). % 도우즈 떨어짐 값 맵을 구하는 과정(S1)은 도 10에 도시되어 있는 서브 단계들로 구성된다. 먼저 % 도우즈 떨어짐 값을 구하기 위한 변수들을 구한다(SS1). 도 10을 참조하면, 측정해야 할 변수는 원 패턴들의 CD 편차 분포 맵과 도우즈 래티튜드이다.
- <81> CD 편차 분포 맵은 마스크 패턴만이 형성되어 있는 포토마스크를 사용하여 웨이퍼 상에 마스크 패턴을 전사한 후, 웨이퍼 상에 프린트된 패턴들을 섹션(section)(또는 메쉬(mesh))들로 분할하고, 각 섹션에 대하여 CD들을 측정하여 구한다. 이 때 가장 작은 CD를 가지는 섹션을 기준으로 각 섹션별로 CD 편차( $\Delta CD$ )를 구한다.
- <82> 도우즈 래티튜드( $\Delta CD / \Delta \% \text{도즈}$ )는 CD 편차 분포 맵 측정시 사용한 노광 조건을 사용하되 노광 도우즈를 변화시켜 이러한 노광 도우즈의 변화에 따른 웨이퍼 상에 프린트된 패턴들의 CD 변화를 측정함으로써 구한다. 노광 도우즈 값들을 X축에 기재하고 웨이퍼 상의 임계 선폭 값들을 Y축에 도시하여 XY 평면에 표시되는 측정치들을 연결하는 직선의 기울기를 구한 후, 현재 노광 과정에 사용된 노광 도우즈 값을 이 기울기와 곱하면, 그 결과 값이 도우즈 래티튜드에 해당되는 값이 된다.
- <83> 예를 들어, 도우즈 변화에 따른 CD 변화의 그래프의 기울기가 3.7nm/mJ로 측정되고, 현재 노광 과정의 최적 노광 도우즈, 즉, 웨이퍼 상에 패턴을 전사하는 데 실제 사용된 노광 도우즈 값이 47.5mJ로 설정된 상태였다면, 현재 노광 과정의 도우즈 래티튜드는  $3.7\text{nm/mJ} \times 47.5\text{mJ}/100 = 1.76\text{nm}/\Delta \% \text{도우즈}$ 가 된다.

- <84> 이어서, 상기 변수들을 사용하여 % 도우즈 떨어짐 값 맵을 구한다(SS2). 다음 식에 대입하면 % 도우즈 떨어짐 값이 구해진다.
- <85>  $\% \text{ 도우즈 떨어짐 값} = \text{도즈 래티튜드} \times \Delta \text{CD}$
- <86> 상기 % 도우즈 떨어짐 값을 각 섹션들별로 구해서 % 도우즈 떨어짐 값 맵을 완성한다. 예를 들면, 도즈 래티튜드 값이 2nm/%도즈이고,  $\Delta \text{CD}$ 가 30nm라면 약 15%의 도우즈 떨어짐 값이 요구된다.
- <87> 다시 도 9를 참조하면, 구해진 % 도우즈 떨어짐 값 맵을 사용해서 각 섹션별로 회절 어레이 스팟 밀도를 구해서 회절 어레이 스팟 밀도 맵을 구한다(S2).
- <88> 예를 들어 어느 한 섹션의 % 도우즈 떨어짐 값이 15%라면, 수학식 2에 의해 회절 어레이 스팟 밀도는 3.75가 된다. 이 때, % 도우즈 떨어짐 값과 조명 강도 떨어뜨림 값은 실질적으로 동일한 개념으로 사용한다. 이와 같은 방법으로 각 섹션별로 회절 어레이 스팟 밀도를 구하여 회절 어레이 스팟 밀도 맵을 완성한다.
- <89> 마지막으로 얻어진 회절 어레이 스팟 밀도 맵에 따라 포토마스크 내에 회절 어레이를 구현한다(S3).
- <90> 회절 어레이는 포토마스크 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 조사하여 스팟들을 형성함으로써 구현한다. 따라서, 회절 어레이는 도 12에 도시되어 있는 펨토 초 레이저를 사용하여 형성하는 것이 바람직하다. 펨토 초 레이저는 레이저 발생부(100), 레이저 가공부(110), 제어부(120) 및 스테이지(130)로 구성된다. 먼저 제어부(120)에 의해 x축( $\leftrightarrow$ ) 및 y축( $\updownarrow$ ) 이동이 가능하도록 제어되는 스테이지(130) 위에 포토마스크(140)를 로딩한다. 이어서, 레이저 발생부(100)의 레이저 발생 장치(101)에서 펄

스 방사 시간(pulse duration time)이  $10^{-15}$  m/s 이고, 에너지 밀도가 대략  $10^6$ - $10^7$  W/cm<sup>2</sup> 수준인 펨토 초 레이저 빔(102)을 발생시킨다. 레이저 빔(102)은 레이저 가공부(110)의 셔터(111), 빔 익스팬더(112), 포커싱 렌즈(114) 등을 거쳐 스테이지(130) 상의 마스크 기판(140)에 조사된다. 그 결과 포토마스크 기판(140) 내에 스팟(139) 들이 형성된다. 이 때, 마스크 기판(140) 내에 형성되는 회절 어레이의 형태는 제어부(120)의 컴퓨터 등의 제어 장치(121)에 의해 제어된다. 123 및 125는 CCD 카메라이다. 예컨대, 제어 장치(121)에 입력되어 있는 스팟 밀도 맵에 따라, 도 11에 도시되어 있는 바와 같이, 각 섹션들(S11, S12, S13, S14)별로 서로 다른 스팟 밀도의 회절 어레이들을 구현한다. 도 11에 도시되어 있는 회절 어레이들은 스팟(39)의 직경(d)은 동일하게 하고 피치만 변경시킴으로써 밀도를 조절한 경우를 예시한다. 레이저 빔(102)의 포커싱을 조절함으로써 다층 회절 어레이를 구현할 수도 있다.

<91> 본 발명의 제조 방법에 따르면, 레이저의 조사만으로 간단하게 회절 어레이를 구현할 수 있으므로, 포토마스크 등의 광학 요소의 특성 보정 및 변형이 매우 용이하게 이루어질 수 있다. 특히, 포토마스크의 경우, 펠리클(pellicle) 등이 형성되어 있는 상태에서 그 특성 보정이 가능하다는 장점이 있다.

<92> 본 발명은 이하의 비제한적인 실험예들을 통해 보다 자세히 설명될 것이다. 한편, 여기에 기재되지 않은 내용은 당업자라면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략한다.

<93> <실험예 1>

- <94> 펄스 레이저에 의해 회절 어레이를 석영 기판 매질 내에 형성할 경우, 실질적인 조명 강도 변화가 있는지를 알아보기 위하여 도 13에 도시되어 있는 바와 같이, 하나의 석영 기판을 4 부분으로 나누어서 서로 다른 스폿 밀도로 회절 어레이를 구현하였다.
- <95> 그 결과 회절 어레이가 형성되지 않은 부분은 100% 투과율을 나타낸 반면, 저밀도, 제1 중간 밀도, 제2 중간 밀도 및 고밀도 순으로 투과율이 감소하였다. 이로써 회절 어레이를 형성함으로써 조명 강도를 감소시켜 최종적으로 투과율을 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또, 스폿 밀도에 비례하여 조명 강도의 감소가 가능함을 알 수 있었다.
- <96> <실험예 2>
- <97> 도 14a에 도시되어 있는 바와 같이 포토마스크를 복수개의 섹션으로 구분한 후, 이 중 3개의 섹션을 선택하여 각 섹션별로 도 14b에 도시되어 있는 바와 같이 서로 다른 피치를 가지는 회절 어레이들을 형성한 후, 각각의 경우에 대하여 투과율을 측정하였다.
- <98> 그 결과가 도 14c에 도시되어 있다. 도 14c는 회절 어레이가 형성되지 않은 영역의 투과율을 1로 정규화한 투과율을 나타내는 그래프이다. 도 14c의 결과로부터, 스폿들의 피치가 감소할 수록, 즉 회절 어레이의 스폿 밀도가 증가할 수록 투과율이 감소함을 알 수 있다.

#### 【발명의 효과】

- <99> 본 발명에 따른 광학 요소는 기판 매질 내에 회절 어레이를 포함함으로써 이들을 투과하는 조명의 강도, 형상 및/또는 성분을 자유롭게 조절할 수 있다. 따라서, 노광 시스템 또는 광학 시스템마다 다르게 요구되는 광학적인 특성을 만족시킬 수 있다.





<100> 도면 및 실시예에서는, 본 발명의 전형적인 바람직한 실시예가 개시되었으며, 비록 특정한 용어를 사용하였지만, 이것들은 단지 일반적이고 묘사적인 의미로 사용된 것이지 후술되는 청구항에 의하여 정해지는 본 발명의 사상을 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 기판; 및

상기 기판의 매질 내부에 형성되어 상기 기판의 후면에 입사되어 상기 기판을 투과하는 상기 조명의 강도 및/또는 형상을 조절하는 회절 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 2】**

제1 항에 있어서, 상기 회절 어레이는 상기 기판 매질과 굴절률이 다른 스팟들의 어레이인 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 3】**

제2 항에 있어서, 상기 스팟은 상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 조사하여 형성한 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 4】**

제3 항에 있어서, 상기 에너지는 펨토 초 레이저의 에너지인 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 5】**

제1 항에 있어서, 상기 회절 어레이의 일부 또는 전부는 다층 어레이인 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 6】**

제1 항에 있어서, 상기 기판 내에 적어도 2개의 서로 다른 형태의 회절 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 7】**

제1 항에 있어서, 상기 기판은 포토마스크, 어퍼쳐, 또는 렌즈의 기판인 것을 특징으로 하는 광학 요소.

**【청구항 8】**

전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 포토마스크 기판;

상기 포토마스크 기판의 상기 전면에 형성되어 전자 소자 기판 상에 전사될 마스크 패턴; 및  
상기 포토마스크 기판 매질 내부에 형성되어 상기 포토마스크의 상기 후면에 입사되어 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명의 강도를 조절하는 회절 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 9】**

제8 항에 있어서, 상기 회절 어레이는 상기 기판 매질과 굴절률이 다른 스폿들의 어레이인 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 10】**

제9 항에 있어서, 상기 스폿은 상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 조사하여 형성한 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 11】**

제10 항에 있어서, 상기 에너지는 펨토 초 레이저의 에너지인 것을 특징으로 하는 포토마스크

**【청구항 12】**

제8 항에 있어서, 상기 회절 어레이의 일부 또는 전부는 다층 어레이인 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 13】**

제8 항에 있어서, 상기 포토마스크는 복수개의 섹션으로 구분되고,  
상기 회절 어레이는 상기 각 섹션들마다 형성된 복수개의 회절 어레이 세트로 구성되고,  
상기 각 회절 어레이는 복수개의 스폿들로 구성되고, 상기 스폿들은 상기 스폿의 직경 및 피치를 변수로 하고 상기 각 섹션의 후면에 입사되어 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명 강도의 떨어짐에 비례하는 밀도 함수에 따라 어레이되어 있으며,  
상기 섹션들 중 하나의 섹션 내의 회절 어레이를 구성하는 상기 스폿들의 밀도와 상기 섹션들 중 나머지 섹션 내의 회절 어레이를 구성하는 상기 스폿들의 밀도는 서로 다른 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 14】**

제13 항에 있어서, 상기 섹션들은 셀 어레이 섹션과 주변 회로 섹션을 포함하는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 15】**

제8 항에 있어서, 상기 포토마스크의 매질 내부의 상기 회절 어레이 상부에 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명이 사입사되도록 하는 회절 어레이를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

**【청구항 16】**

노광 시스템에서 포토마스크로 입사되는 조명의 수직성분을 차단하고 사입사 성분만이 입사되도록 하는 어퍼처에 있어서,

전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 기판; 및

상기 기판의 매질 내부에 형성되고, 상기 기판의 후면에 입사되어 상기 기판을 투과하는 조명  
이 상기 포토마스크에 사입사되도록 하는 회절 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 어퍼쳐.

【청구항 17】

제16 항에 있어서, 상기 회절 어레이는 상기 기판 매질과 굴절률이 다른 스팟들의 어레이인 것  
을 특징으로 하는 어퍼쳐.

【청구항 18】

제17 항에 있어서, 상기 스팟은 상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화  
하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 조사하여 형성한 것을 특징으로 하는 어퍼쳐.

【청구항 19】

제18 항에 있어서, 상기 에너지는 펨토 초 레이저의 에너지인 것을 특징으로 하는 어퍼쳐.

【청구항 20】

제16 항에 있어서, 상기 포토마스크에 형성되어 있는 마스크 패턴은 제1 형태의 패턴 및 상기  
제1 형태의 패턴과 다른 제2 형태의 패턴으로 구성되고,

상기 회절 어레이는 상기 제1 형태의 패턴의 해상도를 향상시키기에 적합한 사입사가 가능하도  
록 하는 제1 회절 어레이 및 상기 제2 형태의 패턴의 해상도를 향상시키기에 적합한 사입사가  
가능하도록 하는 제2 회절 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 어퍼쳐.

【청구항 21】

광학 시스템에 적용되는 광학 요소로 조명에 대해 투명한 기판을 가지는 광학 요소를 제  
공하는 단계; 및

상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 상기 기판에 조사하여 상기 기판의 매질 내부에 상기 기판의 후면에 입사되어 상기 기판을 투과하는 상기 조명의 강도, 형상 및/또는 성분을 조절하는 회절 어레이를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 요소의 제조 방법.

【청구항 22】

제21 항에 있어서, 상기 에너지는 펄스 레이저의 에너지인 것을 특징으로 하는 광학 요소의 제조 방법.

【청구항 23】

제21 항에 있어서, 상기 회절 어레이의 일부 또는 전부는 다층 어레이로 형성하는 것을 특징으로 하는 광학 요소의 제조 방법.

【청구항 24】

제21 항에 있어서, 상기 기판 내에 적어도 2개의 서로 다른 형태의 회절 어레이를 형성하는 것을 특징으로 하는 광학 요소의 제조 방법.

【청구항 25】

제21 항에 있어서, 상기 기판은 포토마스크, 어퍼쳐, 또는 렌즈의 기판인 것을 특징으로 하는 광학 요소의 제조 방법.

【청구항 26】

전면과 후면을 구비하며 조명에 대해 투명한 포토마스크 기판 및 상기 포토마스크 기판의 상기 전면에 형성되어 전자 소자 기판 상에 전사될 마스크 패턴을 구비하는 포토마스크를 제공하는 단계; 및

상기 포토마스크 기판 매질 내부에 상기 기판 매질이 용융 및/또는 증발되지 않고 굴절률이 변화하도록 하는 에너지 밀도를 가지는 에너지를 상기 기판에 조사하여 상기 포토마스크의 상기 후면에 입사되어 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명의 강도를 조절하는 회절 어레이를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

【청구항 27】

제26 항에 있어서, 상기 에너지는 펨토 초 레이저의 에너지인 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

【청구항 28】

제26 항에 있어서, 상기 기판 매질 내부의 상기 회절 어레이 상부에 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명이 사입사되도록 하는 회절 어레이를 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

【청구항 29】

제26 항에 있어서, 상기 포토마스크를 복수개의 섹션으로 구분하여 각 섹션별로 회절 어레이를 형성하되,

상기 각 섹션별로 형성되는 상기 회절 어레이는 복수개의 스팟들로 구성되고,

상기 스팟들은 상기 스팟의 크기 및 피치를 변수로 하고 상기 각 섹션의 후면에 입사되어 상기 마스크 패턴으로 향하는 상기 조명 강도의 떨어짐에 비례하는 밀도 함수에 따라 어레이하여, 상기 섹션들 중 하나의 섹션 내의 회절 어레이를 구성하는 스팟들의 밀도와 상기 섹션들 중 나머지 섹션 내의 회절 어레이를 구성하는 스팟들의 밀도가 서로 다르도록 형성하는 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

## 【청구항 30】

제29 항에 있어서, 상기 스팟들의 밀도는 상기 포토마스크를 제공하는 단계 전에,

상기 포토마스크를 사용하여 노광 과정을 수행하여 상기 전자 소자 기판 상으로 상기 마스크 패턴을 전사하여 상기 조명 강도 떨어짐 값을 구하기 위한 변수를 구하는 단계;

상기 변수를 사용하여 상기 조명 강도 떨어짐 값 맵을 구하는 단계; 및

상기 조명 강도 떨어짐 값 맵을 사용하여 회절 어레이 스팟 밀도 맵을 구하는 단계를 더 포함하고,

상기 회절 어레이를 형성하는 단계는 상기 회절 어레이 스팟 밀도 맵을 사용하여 상기 회절 어레이를 형성하는 단계인 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

## 【청구항 31】

제30 항에 있어서, 상기 변수는 임계 치수 편차 분포 맵 및 도우즈 래티튜드인 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

## 【청구항 32】

제31 항에 있어서, 상기 조명 강도 떨어짐 값 맵은 상기 도우즈 래티튜드와 상기 임계 치수 편차의 곱으로 구하는 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

## 【청구항 33】

제32 항에 있어서, 상기 회절 어레이 스팟 밀도 맵은  $\text{조명 강도} = 1 - 4(\text{스팟의 직경})^2 / (\text{스팟의 피치})^2$ 의 관계식으로부터 구하는 것을 특징으로 하는 포토마스크의 제조 방법.

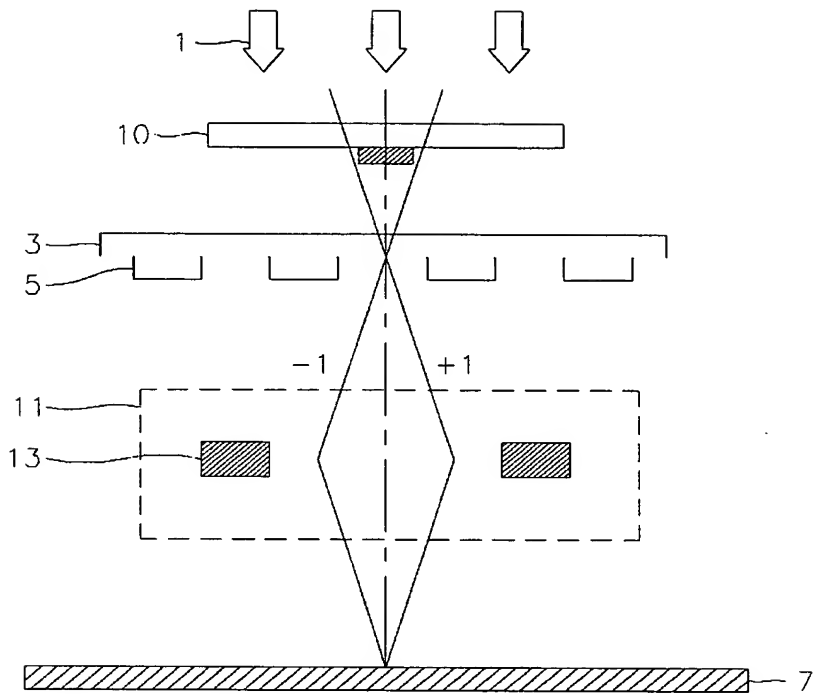


【도 1】

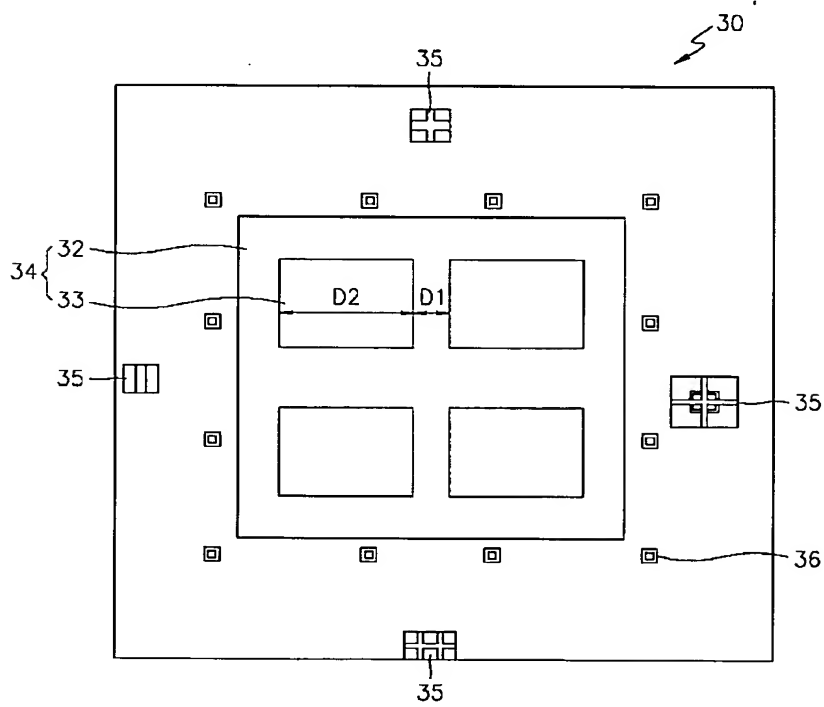




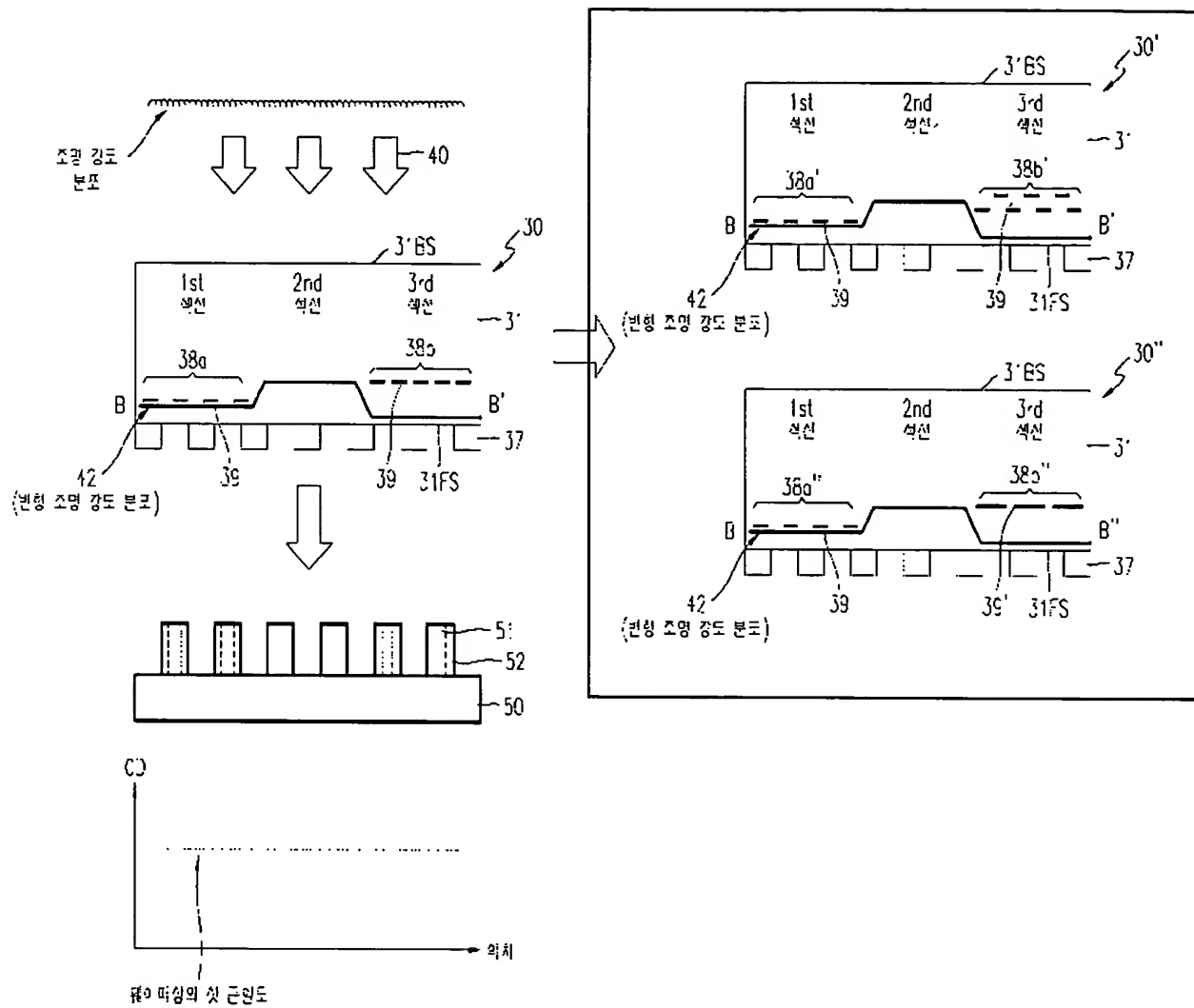
【도 2】



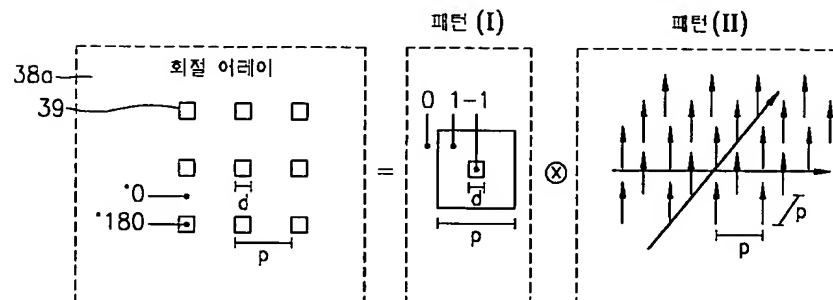
【도 3a】



【도 3b】

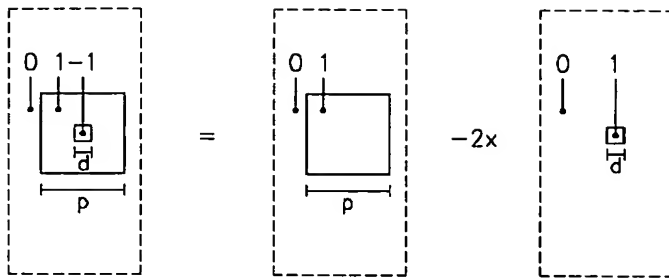


【도 4a】

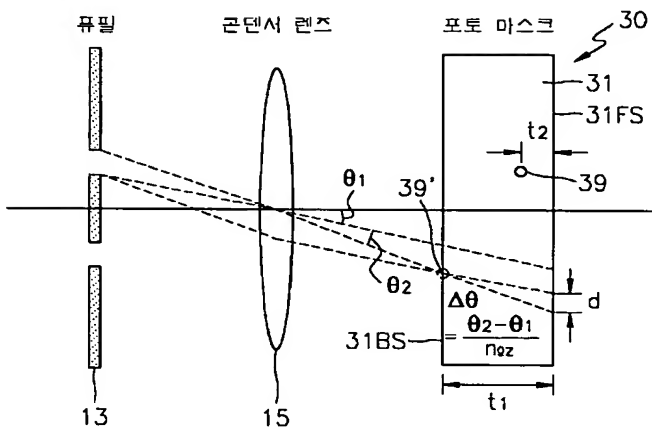


【도 4b】

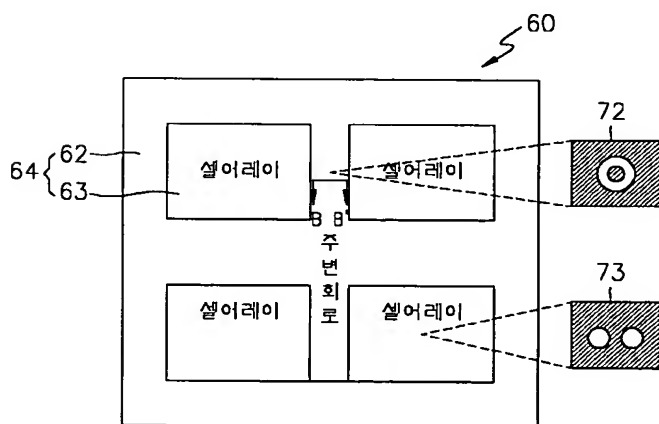
패턴 (I)



【도 5】

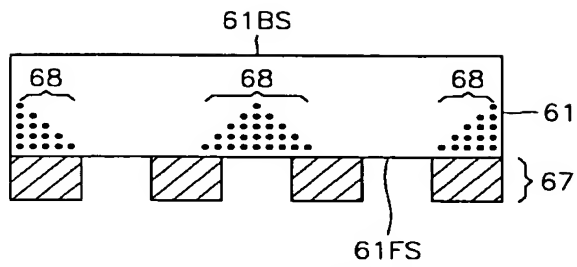


【도 6a】

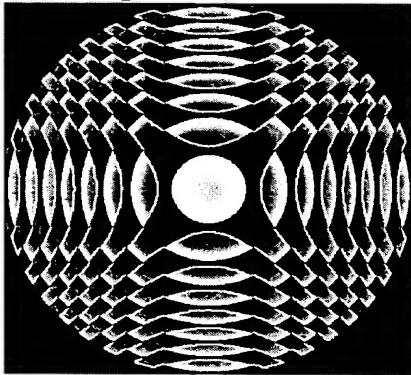




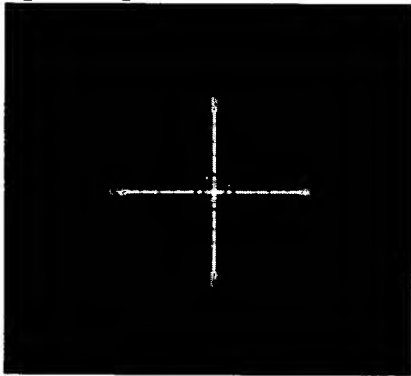
【도 6b】



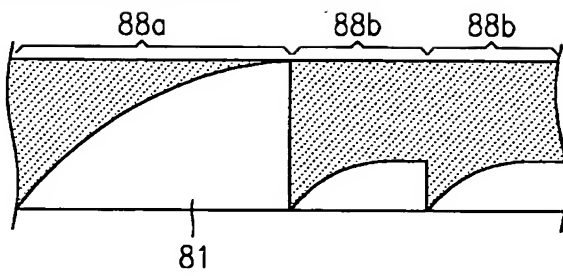
【도 7a】



【도 7b】

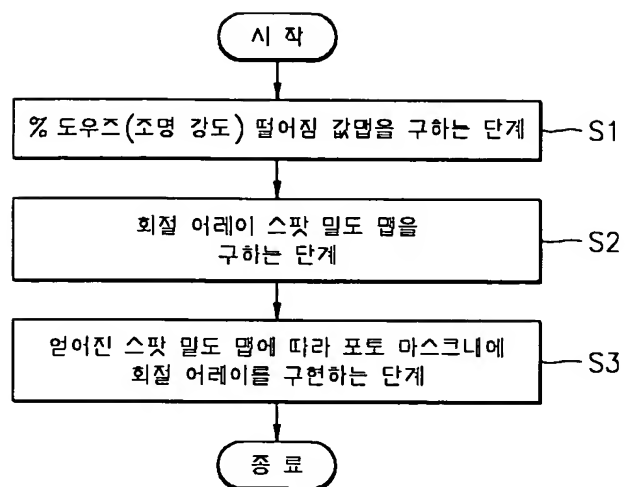


【도 8】

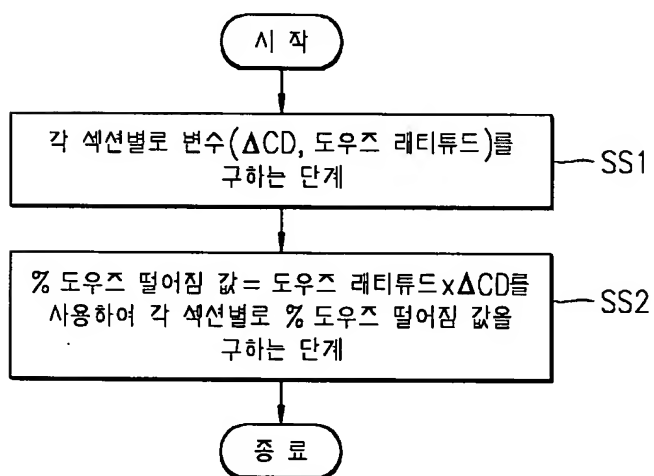




【도 9】

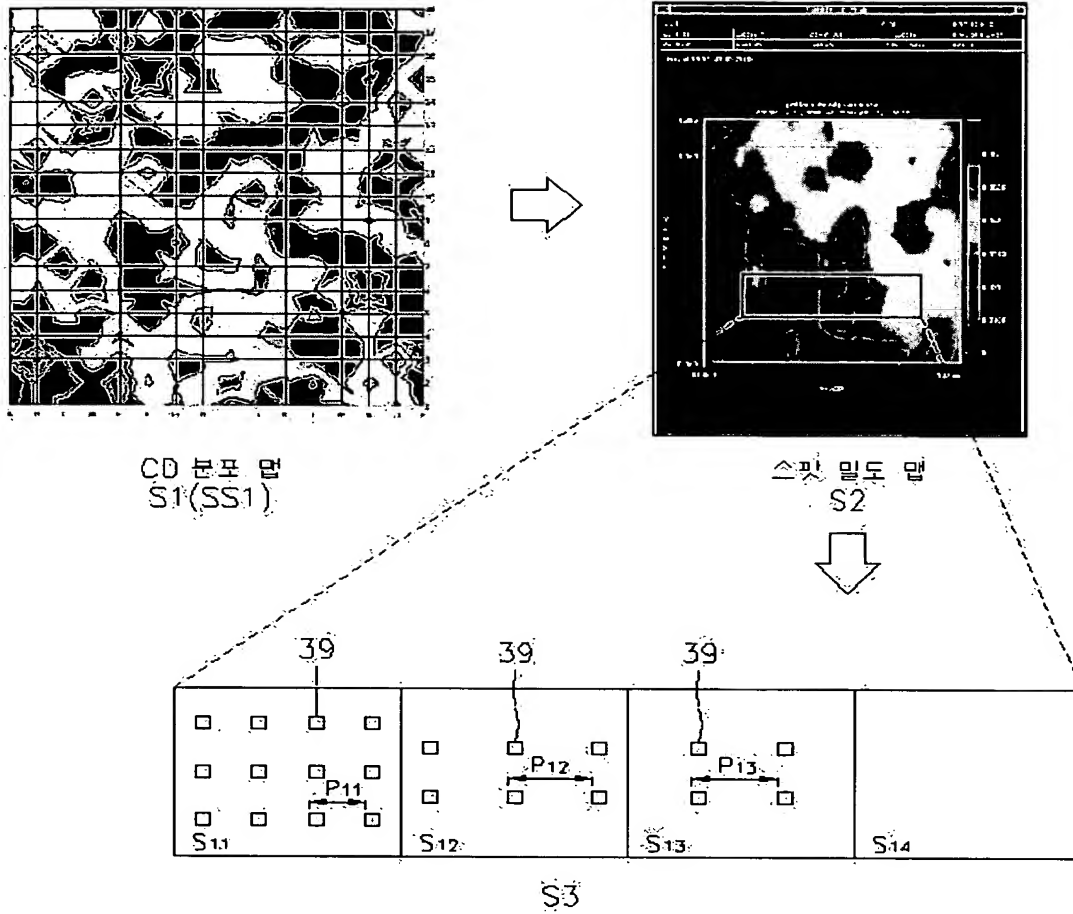


【도 10】



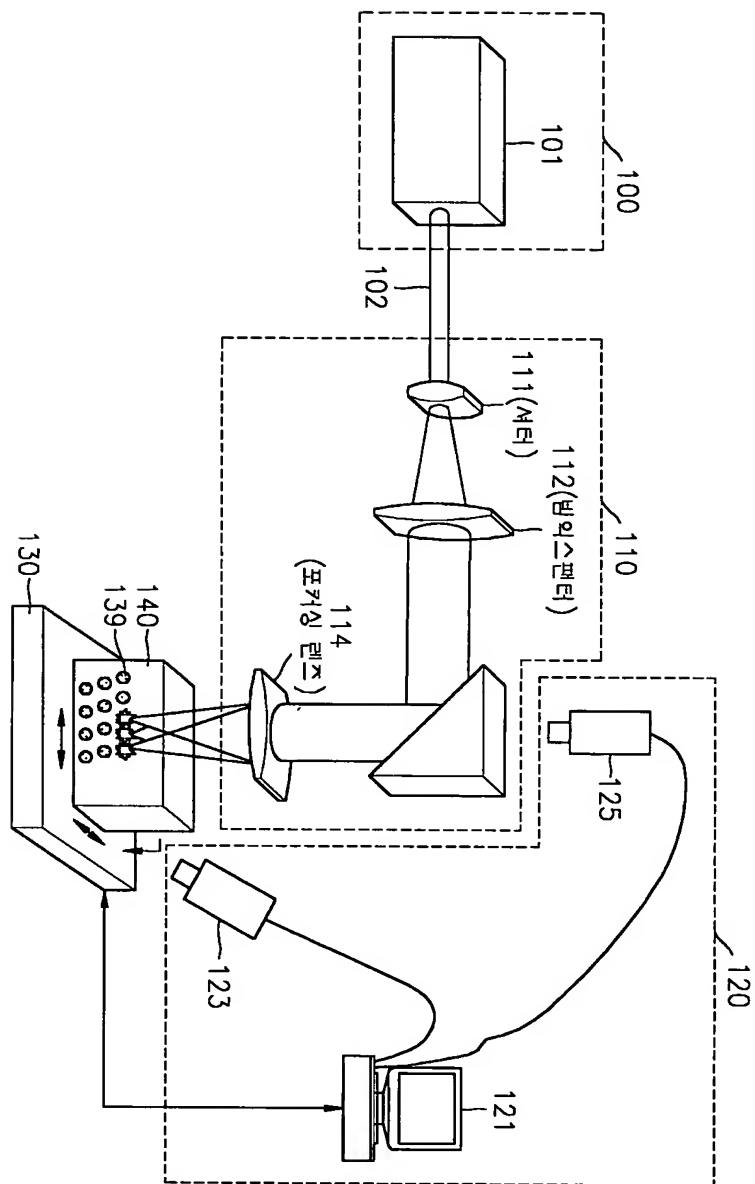


【도 11】





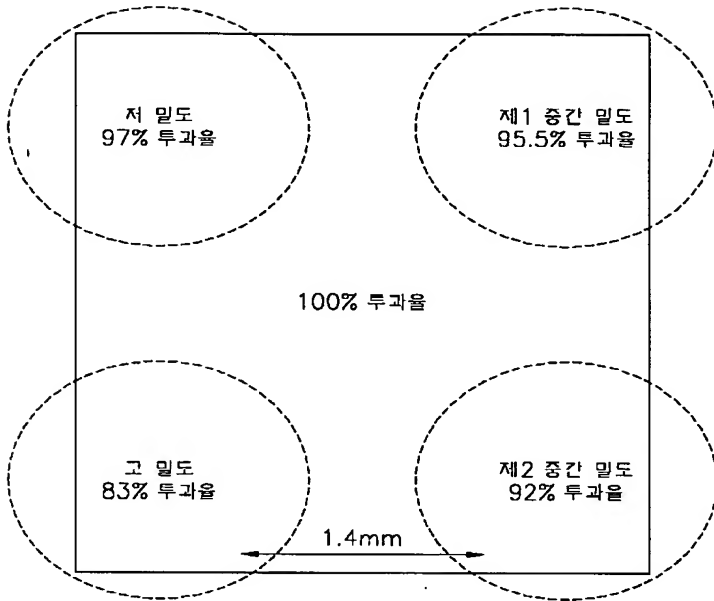
【도 12】







【도 13】

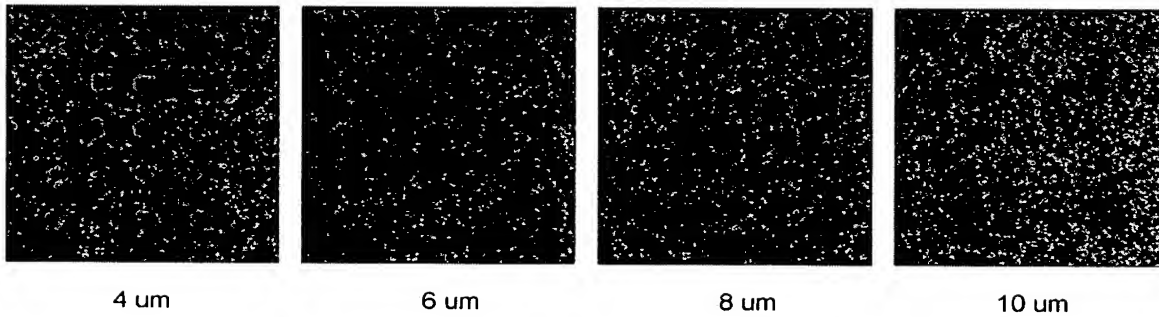


【도 14a】

측정 위치

			#3	
		#1	#2	

【도 14b】



【도 14c】

